

Aus dem Institut
für zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz,
Direktor Prof. Dr. H. Marx

Vergleichende Untersuchung der in vitro - Korrosions-
beständigkeit, der Scherfestigkeit des Verbundes
Metall - Keramik und der thermischen Dilatation von
silberfreien Palladiumbasislegierungen und einer
hochgoldhaltigen Legierung für die Metallkeramik

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin der Johannes Gutenberg - Universität
Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt von
Hans - Jörg Schwenk
aus Hünfelden - Kirberg

Mainz 1986



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut
für zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz,
Direktor Prof. Dr. H. Marx

Vergleichende Untersuchung der in vitro - Korrosions-
beständigkeit, der Scherfestigkeit des Verbundes
Metall - Keramik und der thermischen Dilatation von
silberfreien Palladiumbasislegierungen und einer
hochgoldhaltigen Legierung für die Metallkeramik

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin der Johannes Gutenberg - Universität
Mainz

dem Fachbereich Medizin vorgelegt von

Hans - Jörg Schwenk
aus Hünfelden - Kirberg

Mainz 1986

Dekan: Prof. Dr. J. Michaelis

1. Gutachter: Prof. Dr. H. Marx

2. Gutachter: Prof. Dr. K. Fuhr

Tag der Promotion: 14. Mai 1986

1 Einleitung.....	1
2 Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.....	3
3 Versuchsmaterialien.....	4
4 Herstellung der Prüfkörper.....	6
4.1 Herstellung der Prüfkörper für den Schertest.....	6
4.1.1 Vorbereitung der Metallwürfel.....	6
4.1.2 Das Aufbrennen der Keramik.....	10
4.2 Herstellung der Prüfkörper für die anodische Polarisation.....	18
4.3 Herstellung der Prüfkörper zur Bestimmung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten....	19
5 Versuchsdurchführung.....	20
5.1 Durchführung des Scherversuches.....	20
5.2 Durchführung der anodischen Polarisation.....	22
5.2.1 Versuchsaufbau.....	22
5.2.2 Versuchsdurchführung.....	25
5.3 Durchführung der Messung zur Bestimmung der linearen thermischen Dilatation.....	27
5.3.1 Versuchsaufbau.....	27
5.3.2 Versuchsdurchführung.....	28
6 Ergebnisse.....	29
6.1 Ergebnisse des Schertests.....	29
6.1.1 Einzelergebnisse.....-.....	29
6.1.2 Ergebnisse des Schertests, Übersicht.....	35
6.2 Ergebnisse der anodischen Polarisation.....	36
6.2.1 Stromdichte - Potential - Kurven der untersuchten Legierungen.....	37
6.2.2 Durchbruchspotentiale, bezogen auf Normal - Wasserstoffelektrode.....	42
6.3 Ergebnisse der Bestimmung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten.....	43

7 Diskussion.....	44
7.1 Diskussion der Ergebnisse der Scherversuches.....	44
7.2 Diskussion der Ergebnisse der anodischen Polarisation.....	46
7.3 Diskussion der Ergebnisse der Bestimmung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten....	47
8 Zusammenfassung.....	48
9 Literaturverzeichnis.....	49

1 Einleitung

Schon in den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts gab es erste Versuche, Metallgerüste mit Porzellan, wie es damals hieß, zu Zahnersatzzwecken ganz oder teilweise zu umkleiden.

Die Idee, die mechanische Festigkeit von Metallegierungen mit der günstigen ästhetischen Wirkung und der Biokompatibilität von Keramiken zu kombinieren, ist also schon alt.

Wenn auch die anfänglichen Versuche, man verwendete Formteile aus Platin - Iridium - Legierungen und keramische Massen mit sehr hoher Brenntemperatur, zum Scheitern verurteilt waren, so war doch eine Entwicklung in Gang gesetzt worden, die, nach Unterbrechung durch den 2. Weltkrieg, Anfang der sechziger Jahre zur Entwicklung von aufbrennfähigen Dentallegierungen und dazu passenden Keramikmassen führte. Die Notwendigkeit der Abstimmung der Eigenschaften von Legierung und Keramik aufeinander sei hier betont und wurde damals erkannt, eine Vorbedingung für den klinischen Erfolg der Metallkeramik. Heute ist der Anteil der Metallkeramik an allem festsitzenden Zahnersatz größer als 50%, die Metallkeramik ist eine bewährte Standardlösung in der prothetischen Versorgung geworden.

Als Basismaterial für Aufbrennlegierungen diente, zumindest in der BRD, hauptsächlich Gold, dem andere Platinmetalle zur notwendigen Erhöhung des Schmelzintervalles beigelegt wurden und der klinische Erfolg gab diesem Vorgehen recht. Doch die Erhöhung des Goldpreises und der buchstäblich tonnenweise Einsatz von Goldlegierungen zu Zahnersatzzwecken führte bald zu unerträglichen finanziellen Belastungen der Kostenträger des Gesundheitswesens in unserem Land, sodaß es dringend notwendig wurde, Alternativen zu Goldlegierungen zu finden und einzusetzen, wie in anderen Ländern mit anders gearteter Finanzierung der Krankenversorgung, etwa den USA, schon früher geschehen.

Will man nicht auf die Vorteile des Verbundsystems Metall - Keramik verzichten, so bieten sich zwei Wege an, die hauptsächlich durch die Metallkomponente verursachten Materialkosten für die Metallkeramik zu senken. Erstens der Einsatz von NEM - Legierungen, bei bekannter Problematik in Bezug auf Biokompatibilität und Verarbeitbarkeit und zweitens der Einsatz von Legierungen auf Palladiumbasis, dem preiswertesten Metall aus der Platin - Gruppe.

Da der Einsatz von silberhaltigen Palladiumbasislegierungen für die Metallkeramik, zumindest bisher, auf Grund von Verfärbungen der Keramik, problematisch war, wurden silberfreie Palladiumbasislegierungen entwickelt, die bei hinreichender Verarbeitbarkeit diese Probleme nicht kennen.

Wie alle neuen Werkstoffe müssen diese neuen, silberfreien Palladiumbasislegierungen in - vitro - Tests unterworfen werden, um über zytologische Tests und eventuelle Tierversuche den klinischen Versuch am Menschen so gefahrlos als möglich zu gestalten.

Zwar ist aus dem guten Abschneiden in o. a. Vortests nicht sicher auf die Eignung zum Einsatz in der menschlichen Mundhöhle zu schließen, das Menschenmögliche sollte jedoch getan sein, um den Einsatz dieser Legierungen gegenüber unseren Patienten verantworten zu können.

Eine konsequentere Prüfung neuer Materialien ist dringend anzustreben, was auch die unüberschaubare Flut neuer Produkte, der wir uns heute gegenübersehen, eindämmen wird.

2 Gegenstand der vorliegenden Untersuchung

Die zu Beginn dieser Arbeit bekannten und verfügbaren silberfreien Palladiumbasislegierungen sollen als Bestandteil der ersten, d.h. in - vitro - Stufe der Versuche zu ihrer Eignung als zahnärztlicher Werkstoff, auf ihre Korrosionsbeständigkeit, ihr thermisches Ausdehnungsverhalten und auf die Größe der Kräfte des Verbundes Metall - Keramik untersucht werden.

Die klinisch bewährte Legierung Degudent U der Firma Degussa diene als Vergleichslegierung, um die Ergebnisse einordnen zu können.

Die vorliegende Untersuchung soll ein Beitrag zur Werkstoffkunde der Palladiumbasislegierungen sein.

3 Versuchsmaterialien

Die folgenden Legierungen wurden von den Herstellerfirmen dankenswerterweise zur Verfügung gestellt und für die Versuche verwendet:

Pangold Keramik SF	(C. Hafner)
Bond - on 4	(Degussa)
Simidur S2	(Wieland)
Albabond U silberfrei	(Heraeus)
Albabond E	(Heraeus)
BegoPal	(Bego)
Cerapall	(Metaux Precieux)
Neopal	(Dentaurum)
Esteticor	(Cendres & Metaux)
Degudent U	(Degussa)

Technische Daten dieser Legierungen sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Zur Herstellung der Prüfkörper für den der Ermittlung der Verbundfestigkeit Metall - Keramik dienenden Schertest wurden außerdem folgende Keramikmassen der Firma Vita verwendet:

Grundmasse : Vita VMK Paint-on 88 Flüssigkeit
Vita VMK Paint-on 88, 514, A4.B3-4
Keramikmasse

Dentinmasse: Vita Modellierflüssigkeit Ch.-B06151
Vita VMK 68, 545, B3.D4 Keramikmasse

Tabelle 1: Verwendete Legierungen

Legierung	Code	Hersteller	Dichte g·cm ⁻³	Gehalt an Au und Metallen der Pt-Gruppe Masse %	Gehalt an Au Masse %
Pangold Keramik SF	PK	C. Hafner	11,1	75,5	keine Angabe
Bond - on 4	B4	Degussa	11,5	82,5	1,0
Simidur S2	S2	Wieland	10,5	81,1	2,0
Albabond U silberfrei	AU	Heraeus	11,3	77,0	keine Angabe
Albabond E	AE	Heraeus	11,4	80,0	keine Angabe
BegoPäl	BP	Bego	11,2	75,0	2,0
Cerapall	CP	Metaux Precieux	11,5	83,0	keine Angabe
Neopal	NP	Dentaurum	10,6	81,0	3,0
Esteticor	ES	Cendres & Metaux	11,2	Pd 86,0	keine Angabe
Degudent U	DU	Degussa	18,0	96,1	77,3

4 Herstellung der Prüfkörper

4.1 Herstellung der Prüfkörper für den Scherversuch

4.1.1 Vorbereitung der Metallwürfel

Zur Herstellung der Prüfkörper wurden jeweils 6 Würfel der zu prüfenden Legierung mit einer Kantenlänge von 5,90 - 5,95 mm benötigt. Diese Würfel wurden freundlicherweise von den Herstellerfirmen der betreffenden Legierungen nach den geltenden Verarbeitungsanweisungen im Wachs-ausschmelzverfahren hergestellt und zur Verfügung gestellt.

Die Maßhaltigkeit der Würfel wurde mit dem Gerät Millitron, Typ 51 15000 der Firma Feinprüf mit induktivem Wegaufnehmer, überprüft und übermäßige Abmessungen mit Hilfe einer Fräseinrichtung für dentale Zwecke bis zum Erreichen des Toleranzbereiches reduziert. Würfel mit einer Kantenlänge unter 5,90 mm wurden nicht verwandt.

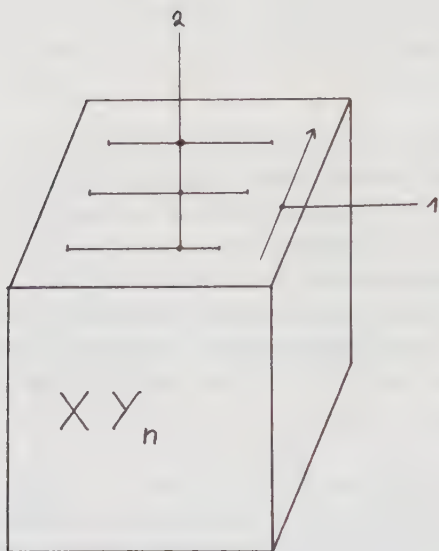
Da eine Reihe von Vorversuchen notwendig waren, die mit den vorhandenen Prüfkörpern durchgeführt werden mußten, wurden alle Legierungswürfel, entsprechend den Verarbeitungsvorschriften für das Aufbrennen der Keramik, auch wenn sie nicht bebrannt wurden, den Brandbedingungen für zwei Grundmassebrände, zwei Dentinbrände und einen Glanzbrand ausgesetzt. So war sichergestellt, daß alle Prüfkörper eine gleiche thermische Vorgeschichte hatten. Nach dieser thermischen Vorbehandlung war bei dem ersten Grundmassebrand

keine Blasenbildung mehr zu beobachten. Von den in Vorversuchen tatsächlich mit Keramik bebrannten Prüfkörpern wurden die nach dem Scheren noch verbleibenden Keramikreste durch Einlegen in Flußsäure entfernt.

Um die mechanische Komponente des Verbundes Metall - Keramik für die zu prüfenden Legierungen zu vereinheitlichen, wurde die für das Aufbrennen der Keramik vorgesehene Würfelfläche auf SiC - Naßschleifpapier der Körnung 1000 abgezogen. Die zu bebreinnende Würfelfläche wurde zuvor nach ihrer mit unbewaffnetem Auge erkennbaren Güte ausgewählt, so daß sich auf ihr keine Lunker oder Verfärbungen befanden.

Zur Überprüfung der Einheitlichkeit der Oberfläche wurden vor dem Aufbrennen der Keramik Rauhtiefenmessungen mit dem Oberflächenmeßgerät Perthometer S5P vorgenommen. Es wurde eine diamantbestückte Tastspitze mit 3 mm Spitzenradius verwandt.

Zur Oberflächenmessung wurde der Würfel in einer Klemmvorrichtung auf einem Präzisionskreuztisch eingespannt und so ausgerichtet, daß die erste Meßbahn des Oberflächenmeßgerätes in 1 mm Entfernung parallel zur Kante, gebildet auf der Kennzeichnungsfläche und der zu bebreinnenden Fläche, verlief. Weitere Meßbahnen verliefen in 2,5 und 4 mm Abstand von dieser Kante. Die Länge der Meßbahn betrug 4,8 mm, ihr Beginn lag ca. 1 mm vor der im rechten Winkel zur Meßbahn stehenden Kante.



1: Schleifrichtung

2: Meßbahnen des Oberflächenmeßgerätes

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Oberflächen-
messung

Tabelle 2: Ergebnisse der Oberflächenmessungen

Legierung	μm R_{a6}	μm S_D	% S_R	μm R_{t6}	μm S_D	% S_R
Pangold Keramik SF	0,19	0,02	11,8	1,92	0,47	24,4
Bond - on 4	0,20	0,02	9,7	2,02	0,39	19,2
Simidur S2	0,25	0,02	8,0	2,86	0,43	14,9
Albabond U silberfrei	0,23	0,03	13,0	2,46	0,46	18,8
Albabond E	0,24	0,03	12,5	2,66	0,59	22,0
BegoPal	0,22	0,02	9,3	2,26	0,54	23,7
Cerapall	0,25	0,02	6,7	2,94	0,36	12,3
Neopal	0,23	0,02	8,8	2,52	0,41	16,1
Esteticor	0,22	0,01	4,7	2,00	0,21	10,7
Degudent U	0,28	0,02	6,5	2,41	0,35	14,5

R_a : Mittenrauhwert, d.h. der arithmetische Mittelwert aller Abstände des Rauheitsprofils von dessen Mittellinie

R_t : Senkrechter Abstand zwischen höchstem und tiefstem Punkt des Rauheitsprofils innerhalb der Gesamtmeßstrecke

$\overline{R_{a6}}$ bzw. $\overline{R_{t6}}$:

Der arithmetische Mittelwert der drei Ergebnisse für einen Würfel wurde dem entsprechenden Würfel zugeordnet und ging in die statistische Auswertung ein, d.h. pro Legierung und untersuchter Größe sechs Werte.

4.1.2 Das Aufbrennen der Keramik

Die unter 3 bezeichneten Keramikmassen wurden mit den von Schmitz und Schulmeyer (31) angegebenen Lehren auf die Legierungswürfel aufgetragen.

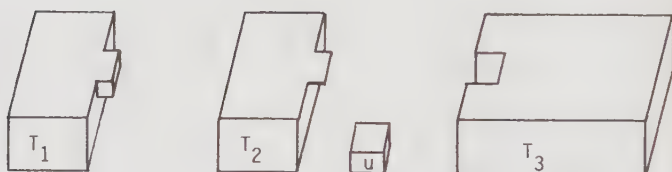


Abbildung 2: Lehren

Die Lehren sind aus Messing gefräst; um ein Haften der Keramikmasse am Metall der Lehre zu verhindern, war es notwendig, alle mit der Keramikmasse in Berührung kommenden Flächen der Lehre mit einem Ölfilm gegen die Keramikmasse zu isolieren. Das Öl wurde dünn mit einem Pinsel aufgetragen und dann mit Cellulose-Vlies weitestgehend entfernt, sodaß die zu befeuernde Würfel Fläche nicht verunreinigt werden konnte.

Das Auftragen der ersten Grundmasseschicht erfolgte nach dem Einlegen der Unterlage U und des entsprechenden Legierungswürfels in die Aussparung von T₃ und dem bündigen Anschieben von T₂ an T₃.

Dadurch war die halbe Fläche des Würfels abgedeckt. Nun wurde die dünn angerührte Grundmasse aufgepinselt und durch intensives Riffeln verdichtet. Der Legierungswürfel wurde nun mit einer starken Pinzette gefaßt und nach oben aus T_3 gezogen, um ein Ablösen der Grundmasse zu verhindern. Nach Säubern der nicht zu bebreunenden Würfel-
flächen mit einem Pinsel stand der Prüfkörper für den ersten Grundmassebrand bereit. Dieses Säubern wurde notwendig, da besonders die dünn angerührte Grundmasse den kapillaren Spalt zwischen Legierungswürfel und Schablone ausfüllte.

Nach dem ersten Grundmassebrand wurde der Legierungswürfel wieder wie beschrieben in die Schablone gesetzt und der Hohlraum der Schablone bis zum Abschluß mit der Schablonenoberfläche unter intensivem Riffeln aufgefüllt, der Prüfkörper mit der Pinzette entnommen und gebrannt.

Zum Auftragen der Dentinmasse wurde die Unterlage U entfernt, der mit zwei Grundmasseschichten bedeckte Würfel in T_3 eingelegt und T_1 bündig angeschoben. Der von den Schablonen gebildete Hohlraum wurde nun mit Dentinmasse aufgefüllt. Die durch das erforderliche, starke Riffeln ausge-
triebene Flüssigkeit wurde mit einem Zellulosevlies aufgenommen. Nach Entfernung des Prüfkörpers aus der Schablone wurde der erste Dentinbrand vorgenommen. Der zweite Dentinbrand diente dem Ausgleich der Brandschwindung. Nach Einsetzen des Prüfkörpers in die Schablone galt es, den spaltförmigen Raum zwischen Keramik und Schablone aufzufüllen, was oft erst nach mehreren Versuchen fehlerfrei gelang. Es schloß sich der zweite

Dentinbrand und nach Abkühlung auf Zimmertemperatur ein Glanzbrand an.

Die jeweils sechs Prüfkörper einer Legierung wurden gemeinsam auf einem keramischen Brenngutträger gebrannt.

Nach jedem Brandvorgang wurden die Prüfkörper unter fließendem Wasser mit einer mittelharten Zahnbürste intensiv gebürstet, um etwaige, lose Keramikpartikel zu entfernen.

Alle Brände wurden mit dem Biodent Multimat durchgeführt. Dieser Ofen arbeitet mit einem Hubtisch, der in die primär 650⁰ C heiße Brennmuffel eingefahren und sodann auf die jeweilige Brenntemperatur aufgeheizt wird. Bei Erreichen der Brenntemperatur schaltet eine einstellbare Zeituhr, die nach Ablauf der Brenndauer das Objekt automatisch aus dem Ofen ausfahren läßt.

Findet der Brennvorgang unter Vakuum statt, so wird eine Minute vor Ende des Brandes der Brennraum belüftet.

Bei den einzelnen Legierungen wurde im Speziellen wie folgt verfahren:

1. Pangold Keramik SF

Das Abkühlen aller Brände erfolgte mit dem Programm "langsam Abkühlen" des Multimates. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Dichlormethan entfettet.

Oxidbrand : 4 min. atmosphärisch bei 980⁰ C

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei 960⁰ C

2. Bond - on 4

Sofort nach Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Auskühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Ethanol 70 % entfettet.

Oxidbrand : Es wurde kein Oxidbrand durchgeführt.

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei 960⁰ C

3. Simidur S2

Sofort nach Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Abkühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Dichlormethan entfettet.

Oxidbrand : Es wurde kein Oxidbrand durchgeführt.

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980°C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980°C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970°C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970°C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei 960°C

4. Albabond U silberfrei

Sofort nach dem Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Auskühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Dichlormethan entfettet.

Oxidbrand : 5 min. atmosphärisch bei 950°C

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980°C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980°C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970°C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970°C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei 960°C

5. Albabond E

Sofort nach dem Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Auskühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Dichlormethan entfettet.

Oxidbrand : 5 min. atmosphärisch bei
950⁰ C

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei
960⁰ C

6. BegoPal

Sofort nach Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Abkühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Dichlormethan entfettet.

Oxidbrand : 10 min. atmosphärisch bei
960⁰ C

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei
960⁰ C

7. Cerapall

Sofort nach Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Auskühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Ethanol 70 % entfettet.

Oxidbrand	: 10 min. atmosphärisch bei 980 ⁰ C
1. Grundmassebrand:	2 min. in Vakuum bei 1 000 ⁰ C
2. Grundmassebrand:	2 min. in Vakuum bei 980 ⁰ C
1. Dentinbrand	: 2 min. in Vakuum bei 970 ⁰ C
2. Dentinbrand	: 2 min. in Vakuum bei 970 ⁰ C
Glanzbrand	: 2,5 min. atmosphärisch bei 960 ⁰ C

8. Neopal

Sofort nach Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Auskühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Dichlormethan entfettet.

Oxidbrand	: 1 min. atmosphärisch bei 1 010 ⁰ C
1. Grundmassebrand:	2 min. in Vakuum bei 980 ⁰ C
2. Grundmassebrand:	2 min. in Vakuum bei 980 ⁰ C
1. Dentinbrand	: 2 min. in Vakuum bei 970 ⁰ C
2. Dentinbrand	: 2 min. in Vakuum bei 970 ⁰ C
Glanzbrand	: 2,5 min. atmosphärisch bei 960 ⁰ C

9. Esteticor

Sofort nach Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger nach allen Bränden zum schnellen Auskühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Ethanol 70 % entfettet.

Oxidbrand : 1,5 min. atmosphärisch bei
960⁰ C

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei
960⁰ C

10. Degudent U

Nach dem Ausfahren des Hubtisches wurde der Brenngutträger für 5 min. auf dem selben belassen und erst dann zum endgültigen Auskühlen auf die Metallfläche des Multimates gestellt. Vor dem ersten Grundmassebrand wurden die Legierungswürfel 15 min. in Aqua dest. gekocht und mit Dichlormethan entfettet.

Oxidbrand : 5 min. atmosphärisch bei
980⁰ C

1. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

2. Grundmassebrand: 2 min. in Vakuum bei 980⁰ C

1. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

2. Dentinbrand : 2 min. in Vakuum bei 970⁰ C

Glanzbrand : 2,5 min. atmosphärisch bei
960⁰ C

4.2 Herstellung der Prüfkörper für die anodische Polarisation

Die Prüfkörper für die anodische Polarisation wurden ebenfalls in den Labors der Herstellerfirmen, entsprechend den geltenden Verarbeitungsvorschriften nach dem Wachsausschmelzverfahren hergestellt und zur Verfügung gestellt.

Die Prüfkörper hatten die ungefähre Abmessung von 10 mm x 10 mm x 1 mm. Durch die spezielle Konstruktion des Probenhalters für die anodische Polarisation ist an die Maßhaltigkeit der Prüfkörper keine hohe Anforderung zu stellen.

Die Prüfkörper wurden einseitig plangeschliffen, um dem Elektrolyten eine plane Fläche auszusetzen und um die Dichtung der verwandten Silikondichtung sicherzustellen.

Nach dem Einbetten gemäß Zeichnung 3 erfolgte ein Schliff mit SiC - Naßschleifpapier, beginnend mit der Körnung 360 bis zum Erreichen der Körnung 1000. Es wurde jeweils solange geschliffen, bis alle Spuren des vorausgegangenen Schleifvorgangs verschwunden waren. Die Befeuchtung des Schleifpapiers erfolgte mit Aqua dest..

Nach Ausbettung und Reinigung mit Ethanol 70 % standen die Prüfkörper für den Versuch bereit.



Abbildung 3: Einbettung der Prüfkörper

4.3 Herstellung der Prüfkörper zur Bestimmung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten

Die zylindrischen Prüfkörper zur Bestimmung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten hatten eine Abmessung von ca. 3 mm Durchmesser und 25 mm Länge. Sie wurden ebenfalls in den Labors der Herstellerfirmen nach dem Wachaufschmelzverfahren und entsprechend den Angaben in der Verarbeitungsanweisungen gegossen. Anschließend wurden die gegossenen Rohlinge spanabhebend bearbeitet, um die o.a. Maße zu erreichen.

Die Messung der exakten Länge der Prüfkörper bei Zimmertemperatur erfolgte mit dem Gerät Millitron, Typ 53 15000 der Firma Feinprüf mit induktivem Wegaufnehmer.

5 Versuchsdurchführung

5.1 Durchführung des Scherversuches

Die Versuche wurden mit einer Zugprüfmaschine der Firma Zwick durchgeführt. Zur Erzeugung von Druckkräften diente ein Kraftumkehrgestänge, das die eigentliche Schervorrichtung trug.

Eine Meßuhr mit Schleppzeiger gab die jeweils aktuell ausgeübte Kraft bzw. über den Schleppzeiger das Kraftmaximum an.

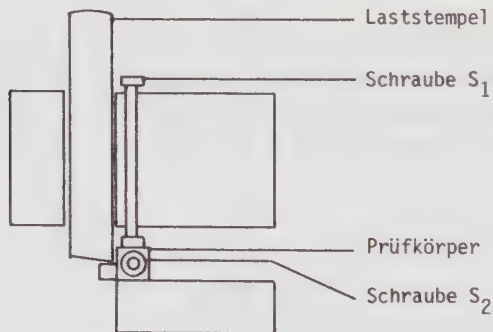


Abbildung 4: Querschnitt der Schervorrichtung

Der Prüfkörper wurde gemäß Zeichnung 4 in die Schervorrichtung eingespannt. Mit einem Stahllineal wurde die nichtbebrannte Würfelhalbfläche zur Fläche der Schervorrichtung gefluchtet, die Schrauben S_1 und S_2 wurden sodann mit einem Drehmoment von $0,0735 \text{ Nm}$ angezogen. Dieses relativ niedrige und bei allen Versuchen konstant gehaltene Drehmoment wurde notwendig,

da bei größeren, unkontrollierten Drehmomenten wohl eine Deformierung des Prüfkörpers eintrat, was die Verbundfestigkeit in den Vorversuchen stark minderte und in einem Falle sogar zum spontanen Ablösen der Keramik führte.

Die Belastung der Proben erfolgte mit einem Vorschub von 1 mm / min bis zur vollständigen Abscherung. Die Größe der Scherspannung ergab sich nach Division der zur vollständigen Abscherung benötigten Kraft durch die von der Keramik bedeckte Fläche.

5.2 Durchführung der anodischen Polarisation

5.2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau erfolgte nach dem von Stender und Marx (45) nach Kaesche (17) angegebenen Schaltschema.

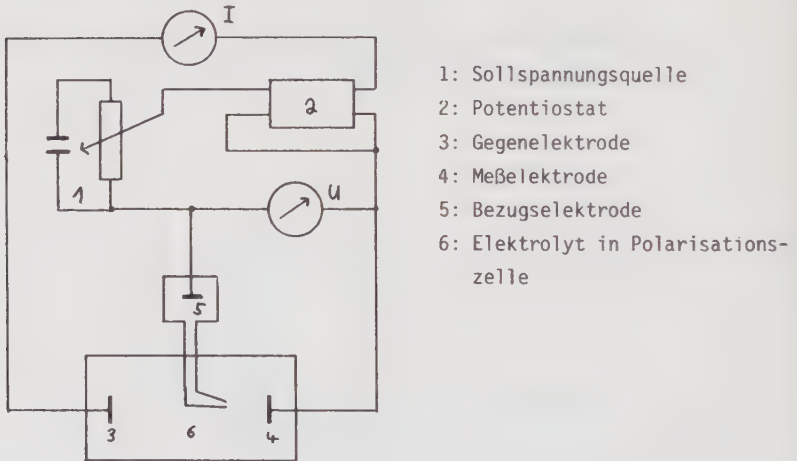


Abbildung 5: Schaltschema der anodischen Polarisation

Der MeBelektrode (Legierungsprobe) wird vom Potentiostaten¹ eine gegen die Bezugselektrode² gemessene Spannung aufgeprägt und auch gegen konsekutiv erfolgende

1 Standard Potentiostat, Wenking ST72, Fa. Bank Elektronik

2 Kalomel B351, 3,5 m KCl, Fa. Schott

elektrochemische Vorgänge aufrechterhalten. Die Größe der Spannung zwischen Bezugs- und Meßelektrode ist durch einen Funktionsgenerator¹ variabel und wird mit einem Spannungsmeßgerät² kontrolliert. Die konsekutiv erzeugten Ströme fließen über eine spezielle Gegenelektrode³.

Die anliegende Spannung und die resultierenden Ströme werden mit einem xy-Schreiber synchron aufgezeichnet.

So erhält man Stromdichte - Potential - Kurven, indem man die über die bekannte Elektrodenoberfläche errechneten Stromdichten auf der Ordinate und Spannungen auf der Abszisse aufträgt. In den Versuchen wurde die Spannung der Meßelektrode, gemessen gegen die verwendete Bezugs- und Gegenelektrode, im Bereich von -300 mV bis +1500 mV mit einer Geschwindigkeit von 10 mV / s vergrößert.

Zur Aufnahme von Elektrolytlösung, Meß- und Gegenelektrode sowie Referenzelektrode diente die von Engel (7) beschriebene Polarisationszelle. Es handelt sich um einen sechshalsigen Rundkolben mit einem Liter Fassungsvermögen, wobei um eine zentrale Öffnung im Quadrat vier weitere Öffnungen angebracht sind und eine zusätzliche, exzentrische Öffnung zur Aufnahme der Referenzelektrode dient.

Die als eigentliche Meßelektrode dienende Legierungsproben wurden mit einer speziellen Meßelektrodenhalterung⁴ in den Elektrolyten eingebracht.

1 Voltage Scan Generator, Wenking Model VSG72, Fa. Bank Elektronik

2 Digitalmultimeter MM31, Fa. S. Henser Elektronik

3 Platinelektrode PT130, Fa. Schott

4 Konstruktion: Dr. E. Stender

Die von Engel (7) beschriebene MeBelektrodenhalterung ist in allen mit dem Elektrolyten in Berührung kommenden Flächen in Kunststoff ausgeführt und setzt dem Elektrolyten eine Kreisfläche der Legierungsprobe von 8 mm Durchmesser aus, was einer Oberfläche von $50,2 \text{ mm}^2$ entspricht.

Die Spitze der als Salzbrücke zwischen Referenzelektrode und Elektrolyten dienenden Haber - Luggin - Kapillare wurde so ausgerichtet, daß sie sich ca. 1 cm von der Oberfläche der Legierungsprobe entfernt befand.

Als Elektrolyt diente eine von der ISO (16) vorgeschlagene Form des Fusayama - Speichels folgender Zusammensetzung:

0,4	g	KCl
0,4	g	NaCl
0,795	g	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
0,78	g	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
1,0	g	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (Harnstoff)
0,005	g	$\text{Na}_2\text{S} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
1000	ml	Aqua dest.

5.2.2 Versuchsdurchführung

Die Polarisationszelle wurde mit 700 ml des frisch angesetzten Elektrolyten gefüllt, in ein thermostatisiertes Wasserbad mit einer Temperatur von $37 \pm 1^\circ \text{C}$ eingehängt und eine Stunde belüftet. Zu diesem Zeitpunkt enthielt der Elektrolyt noch kein Natriumsulfid, da sonst der eingebrachte Schwefel in Form von H_2S beim Belüften fast vollständig entwichen wäre. Vielmehr wurden, nachdem die Belüftung beendet war, 0,0035 g $\text{Na}_2\text{S} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ wenige Minuten vor Versuchsbeginn hinzugefügt und die Polarisationszelle sodann an allen nicht schon mit Elektroden verschlossenen Öffnungen mit eingeschliffenen Glasstopfen verschlossen.

Der Meßelektrodenhalter mit montierter Legierungsprobe wurde in die zentrale Öffnung der Polarisationszelle eingesetzt, wobei darauf geachtet wurde, daß die Prüfkörperoberfläche nicht durch Gasblasen gegen den Elektrolyten isoliert wurde. Für 30 s wurde die Probe mit -300 mV, gemessen gegen die verwendete Bezugselektrode, polarisiert, dann startete der dynamische Polarisationsvorgang, der wie beschrieben mit Hilfe des xy - Schreibers aufgezeichnet wurde. Bei Erreichen des Endes der Polarisation wurde die Schreibspitze vom Papier gehoben, der Potentiostat auf -300 mV zurückgeschaltet und nach Montage einer neuen Legierungsprobe in den Prüfkörperhalter dieselbe wie oben beschrieben den Versuchsbedingungen unterworfen.

Alle 10 Legierungsproben wurden in etwa 30 Minuten durchgemessen. So war sichergestellt, daß die Zusammensetzung des Elektrolyten für die Gesamtdauer des Versuches annähernd konstant war.

Die Auswertung der Stromdichte - Potential - Kurven erfolgte auf grafischem Wege durch Extrapolation der Durchbruchgeraden auf die x - Achse. So erhält man das Durchbruchspotential der Legierung.

Die von Engel (7) beschriebene Auswertung von Peaks vor dem Durchbruchpotential wurde nicht durchgeführt, da sie sich bei der untersuchten Legierungsgruppe, im Gegensatz zu den Durchbruchpotentialen, als nicht reproduzierbar erwiesen.

5.3 Durchführung der Messung zur Bestimmung der linearen thermischen Dilatation.

5.3.1 Versuchsaufbau

Die Messungen wurden mit dem Dilatometer TMA 500 der Firma Heraeus durchgeführt. Die Probe wird hier in einen Quarzglaszylinder senkrecht eingestellt und mit einem Quarzglasstab senkrecht belastet. Der Quarzglasstab ist an der der Probe zugewandten Seite als Halbkugel ausgebildet und an seinem entgegengesetzten Ende mit einem Auflageteller versehen. Der unter dem Auflageteller befindliche Abschnitt besteht aus einem ferromagnetischen Werkstoff und befindet sich in einer Spule. Bewegt sich nun dieser Abschnitt in der Spule, so verändert sich deren Induktivität proportional zum zurückgelegten Weg, im vorliegenden Fall also zur thermisch bedingten Längenänderung der Legierungsprobe. Auf elektronischem Wege wird eine der Induktivitätsänderung proportionale Spannung erzeugt, die der Aussteuerung des im Gerät integrierten xy - Schreibers dient.

Zur Erzeugung der benötigten Temperaturänderungen wurde ein 3 - Zonen - Ofen verwendet, der die gleichmäßige Erwärmung der Proben sicherstellte.

5.3.2 Versuchsdurchführung

Bei Zimmertemperatur wurde mit dem Gerät Millitron, Typ 51 15000 der Firma Feinprüf, die Ursprungslänge L_0 der Prüfkörper gemessen. Nach Einstellen der Legierungsprobe in den Probenträger, Auffahren des Quarzglasstabes und dessen Belastung mit einem geeichten Gewicht von 10 g wurde der Probenträger in den 3 - Zonen - Ofen eingefahren und das Programm des Dilatometers gestartet.

Mit einer Heizrate von 5 K / min wurde die Legierungsprobe von 25⁰ C auf 650⁰ C erwärmt.

Auf dem im Gerät integrierten xy - Schreibers wurde dabei auf der Ordinate die Längenänderung Δl und auf der Abszisse die Temperatur der Probe aufgetragen. Die so gewonnenen Diagramme wurden grafisch ausgewertet und der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient α nach $\alpha = \Delta l \cdot \Delta t^{-1} \cdot l_0^{-1}$ errechnet. Für jede Legierung wurden 3 Messungen durchgeführt und ausgewertet. Von der Legierung Albalond E stand kein Prüfkörper zur Verfügung.

6 Ergebnisse

6.1 Ergebnisse des Schertestes

6.1.1 Einzelergebnisse

Pangold Keramik SF

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $N \cdot mm^{-2}$
1	610	35,1
2	402	23,1
3	354	20,3
4	372	21,4
5	324	18,6
6	502	28,8

Mittelwert der Haftfestigkeit $24,55 N \cdot mm^{-2}$

$$S_D = 5,7 N \cdot mm^{-2}$$

$$S_R = 23,3 \%$$

Bond - on 4

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $N \cdot mm^{-2}$
1	452	26,0
2	465	26,7
3	477	27,4
4	420	24,1
5	463	26,6
6	308	17,7

Mittelwert der Haftfestigkeit $24,75 N \cdot mm^{-2}$

$$S_D = 3,3 N \cdot mm^{-2}$$

$$S_R = 13,4 \%$$

Simidur S2

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
1	378	21,7
2	474	27,2
3	556	31,9
4	645	37,1
5	786	45,2
6	548	31,5

Mittelwert der Haftfestigkeit $32,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

$$S_D = 7,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$S_R = 22,8 \%$$

Albabond U silberfrei

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
1	538	30,9
2	348	20,0
3	462	26,5
4	632	36,3
5	608	34,9
6	624	35,8

Mittelwert der Haftfestigkeit $30,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

$$S_D = 5,9 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$S_R = 19,1 \%$$

Albabond E

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
1	448	25,1
2	482	27,7
3	354	20,3
4	414	23,8
5	402	23,1
6	353	20,3

Mittelwert der Haftfestigkeit $23,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

$$S_D = 2,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$S_R = 11,4 \%$$

BegoPal

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
1	632	36,3
2	484	27,8
3	618	35,5
4	574	33,0
5	372	21,4
6	582	33,5

Mittelwert der Haftfestigkeit $31,23 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

$$S_D = 5,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$S_R = 16,5 \%$$

Cerapall

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
1	570	32,7
2	564	32,4
3	602	34,6
4	578	33,2
5	596	34,2
6	576	33,1

Mittelwert der Haftfestigkeit $33,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

$$S_D = 0,785 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$S_R = 2,35 \%$$

Neopal

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
1	712	40,9
2	408	23,4
3	388	22,3
4	662	38,0
5	416	23,9
6	588	33,8

Mittelwert der Haftfestigkeit $30,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

$$S_D = 7,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$S_R = 24,6 \%$$

Esteticor

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $N \cdot mm^{-2}$
1	574	33,0
2	620	35,6
3	572	32,9
4	508	29,2
5	618	35,5
6	612	35,2

Mittelwert der Haftfestigkeit $33,6 N \cdot mm^{-2}$

$$S_D = 2,25 N \cdot mm^{-2}$$

$$S_R = 6,7 \%$$

Degudent U

Prüfkörper Nr.	F N	Haftfestigkeit $N \cdot mm^{-2}$
1	496	28,5
2	476	27,4
3	414	23,8
4	451	25,9
5	518	29,8
6	292	16,8

Mittelwert der Haftfestigkeit $25,4 N \cdot mm^{-2}$

$$S_D = 4,3 N \cdot mm^{-2}$$

$$S_R = 16,8 \%$$

Als von der Keramik bedeckte Fläche wurden $17,4 \text{ mm}^2$ in Ansatz gebracht.

F: Scherkraft

Der angegebene Mittelwert ist der arithmetische Mittelwert.

S_D : absolute Standardabweichung nach $S_D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \frac{1}{n-1}}$

S_R : relative Standardabweichung, d.h. S_D als Prozentsatz vom Mittelwert der Haftfestigkeit.

6.1.2 Tabelle 3: Ergebnisse des Schertestes, Übersicht

Legierung	Mittelwert der Haftfestigkeit $N \cdot mm^{-2}$	S_D $N \cdot mm^{-2}$	S_R %
Pangold Keramik SF	24,55	5,7	23,3
Bond - on 4	24,75	3,3	13,4
Simidur S2	32,4	7,4	22,8
Albabond U silberf.	30,7	5,9	19,1
Albabond E	23,5	2,7	11,4
BegoPal	31,25	5,2	16,5
Cerapall	33,4	0,785	2,35
Neopal	30,4	7,5	24,6
Esteticor	33,6	2,25	6,7
Degudent U	25,4	4,3	16,8

Als von der Keramik bedeckte Fläche wurden $17,4 \text{ mm}^2$ in Ansatz gebracht.

Der angegebene Mittelwert ist der arithmetische Mittelwert.

$$S_D : \text{absolute Standardabweichung nach } S_D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \frac{1}{n-1}}$$

S_R : relative Standardabweichung, d.h. S_D als Prozentsatz vom Mittelwert der Haftfestigkeit.

6.2 Ergebnisse der anodischen Polarisation

6.2.1 Stromdichte - Potential - Kurven der untersuchten Legierungen

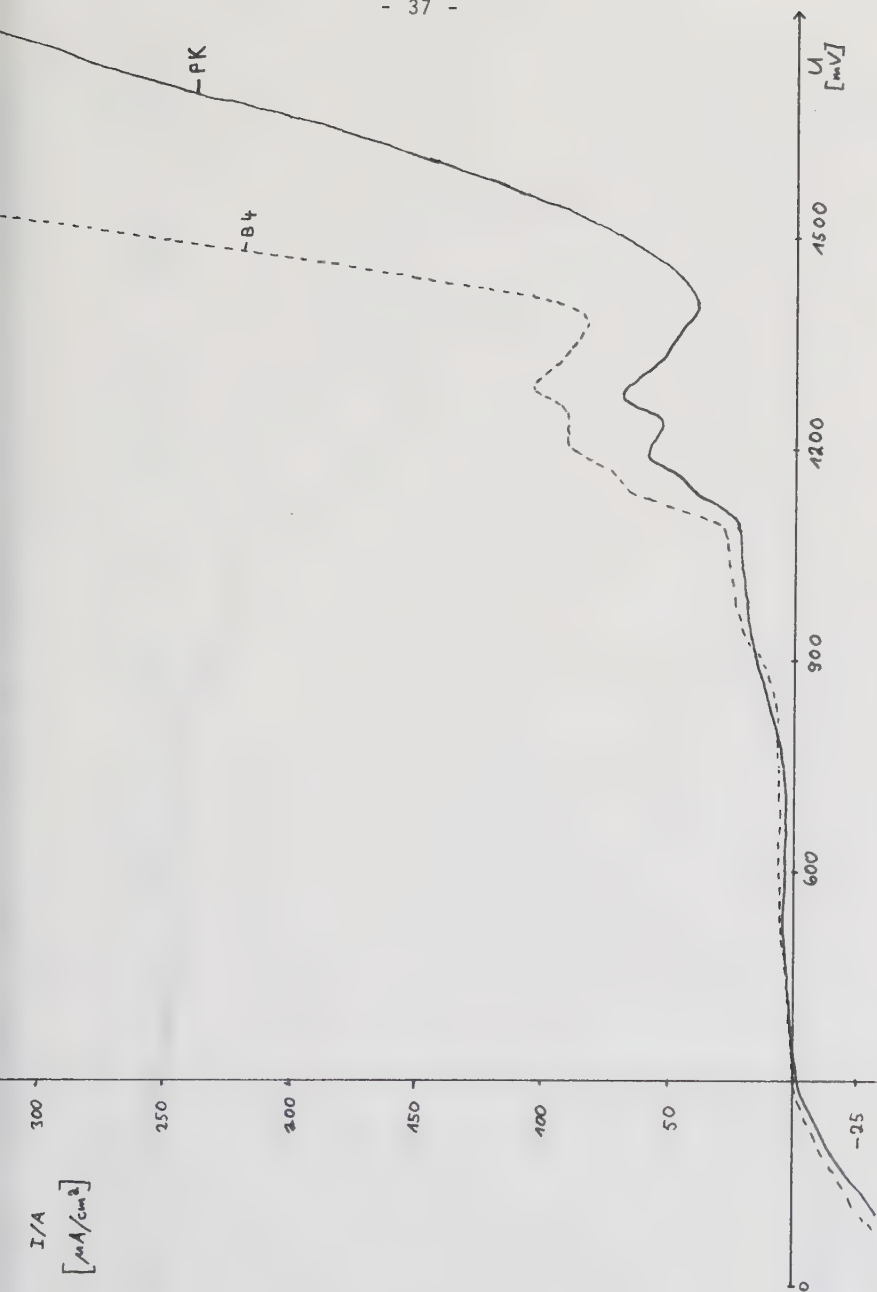


Abbildung 6: Stromdichte - Potential - Kurven der Legierungen Pangold - Keramik SF (PK) und Bond - on 4 (B4)

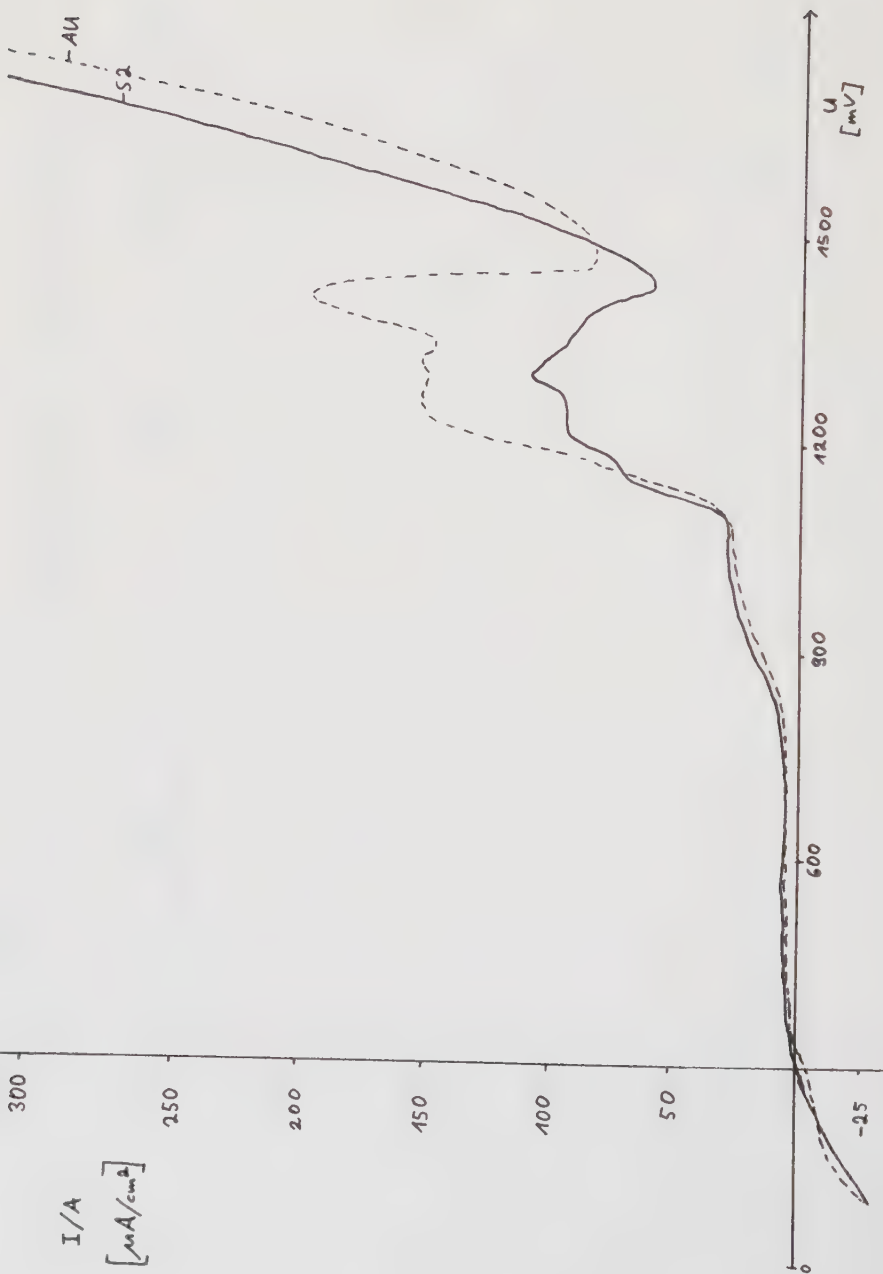


Abbildung 7: Stromdichte - Potential - Kurven der Legierungen Simidur S2 (S2) und Alabond U silberfrei (AU)

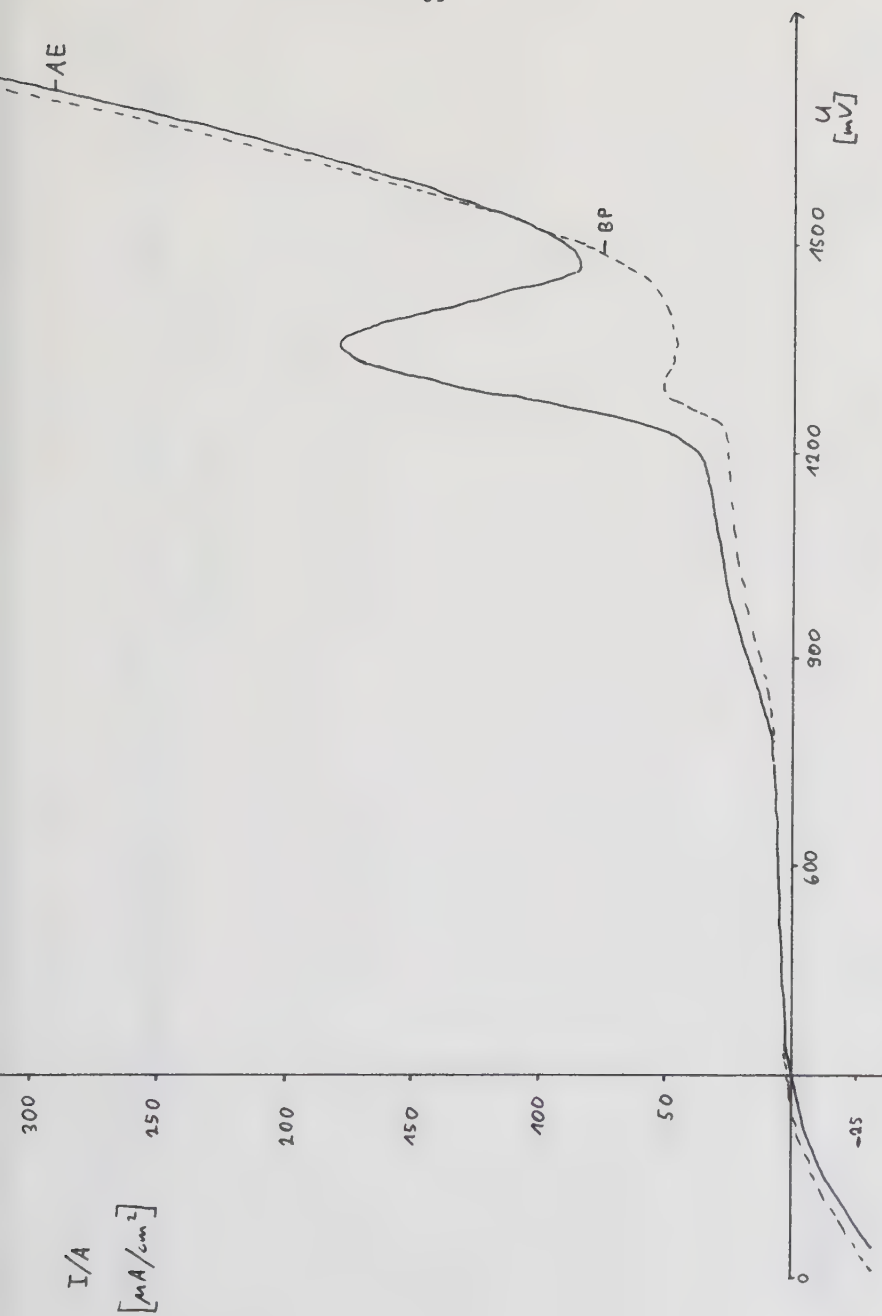


Abbildung 8: Stromdichte - Potential - Kurven der Legierungen Alabond E (AE) und BegoPal (BP)

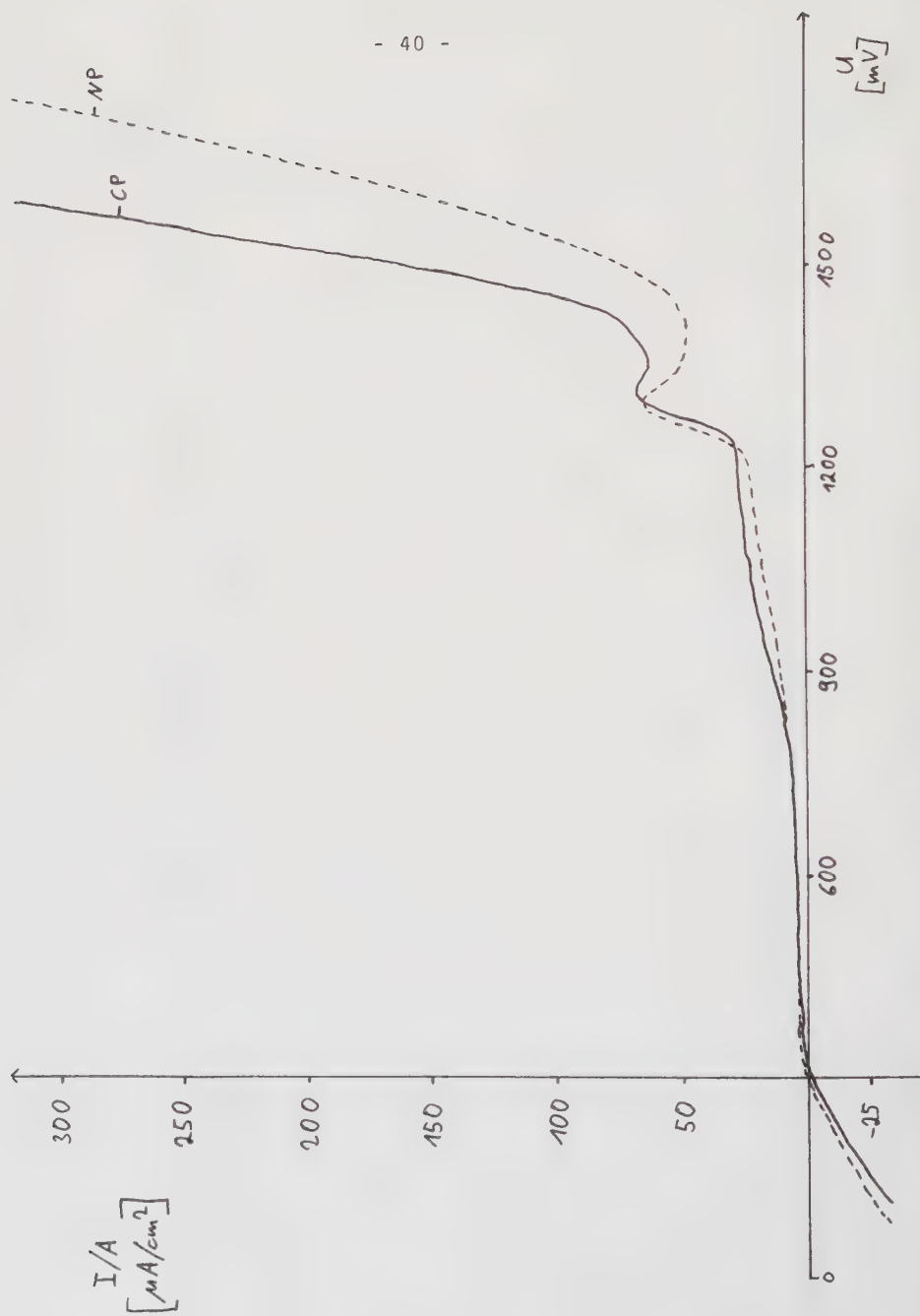


Abbildung 9: Stromdichte - Potential - Kurven der Legierungen Cerapall (CP) und Neopal (NP)

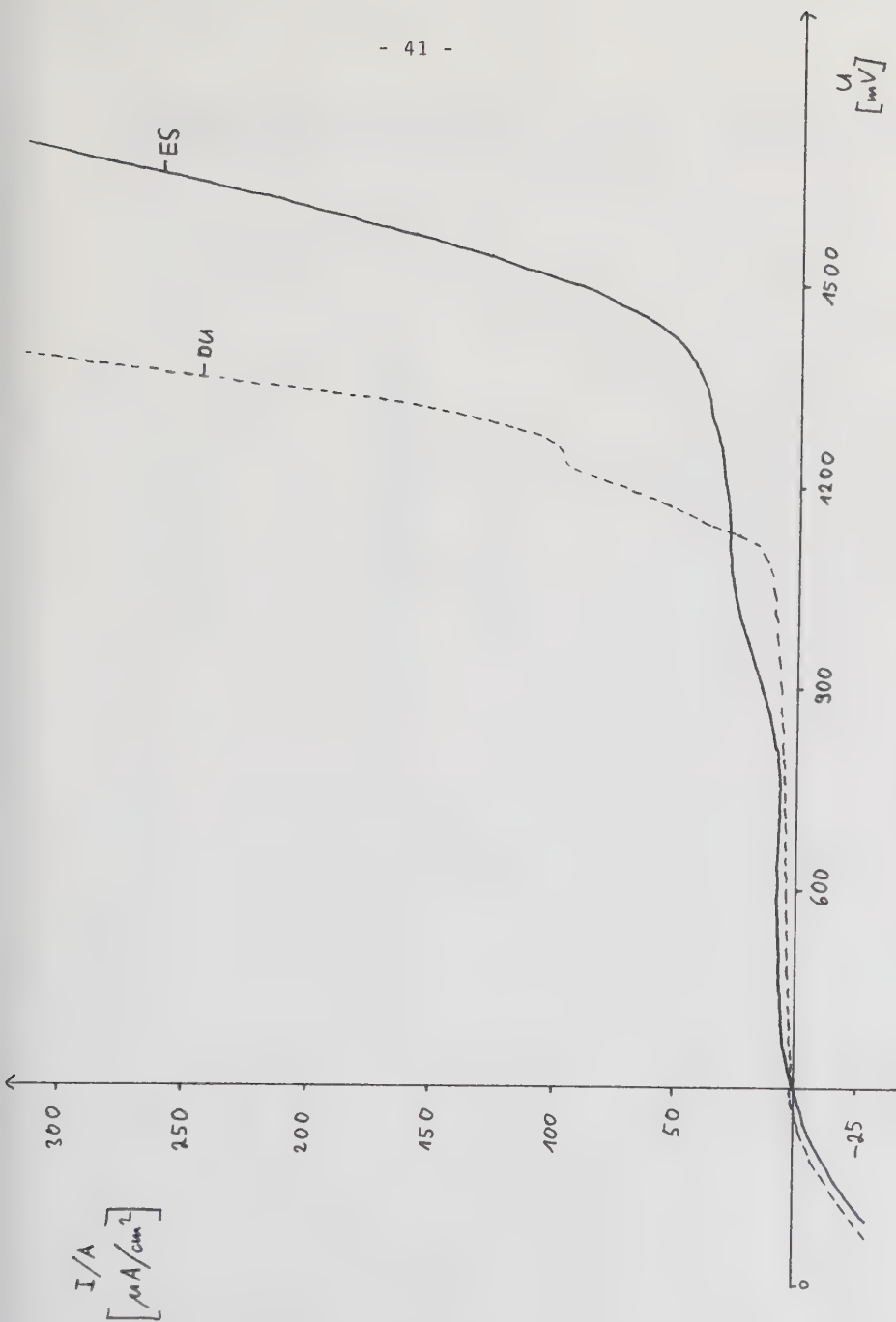


Abbildung 10: Stromdichte - Potential - Kurven der Legierungen Estetecor (ES) und Degudent U (DU)

6.2.2 Tabelle 5: Durchbruchspotentiale, bezogen auf Normal -
Wasserstoffelektrode

Legierung	Durchbruchspotential mV
Pangold Keramik SF	1447
Bond - on 4	1352
Simidur S2	1407
Albabond U silberfrei	1457
Albabond E	1437
BegoPal	1422
Cerapall	1357
Neopal	1452
Esteticor	1417
Degudent U	1232

6.3 Ergebnisse der Bestimmung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten

Tabelle 4: Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient

Legierung	L_0 mm	$\alpha_{25^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}}$ $\mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	$\alpha_{25^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}}$ $\mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	$\alpha_{25^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}}$ $\mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
Pangold Keramik SF	25,00	13,45	13,51	13,66
Bond - on 4	25,01	13,48	13,61	13,69
Simidur S2	36,50	14,01	14,21	15,32
Albabond U silberf.	24,99	14,13	14,25	14,55
BegoPal	25,01	13,64	13,80	13,94
Cerapall	24,99	13,73	13,93	14,10
Neopal	24,85	13,98	14,17	14,24
Esteticor	24,95	13,84	14,00	14,08
Degudent U	25,00	12,55	12,65	12,67

L_0 : Länge der Prüfkörper bei Zimmertemperatur

$\alpha_{25^{\circ}\text{C} - x^{\circ}\text{C}}$: Ausdehnungskoeffizienten für indizierte Temperaturbereiche

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Ergebnisse des Scherversuches

Der Verbundfestigkeit zwischen Metall und Keramik wird in der Literatur (1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 13, 18, 23, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 47) viel Aufmerksamkeit geschenkt, ist sie doch ein entscheidendes Kriterium der klinischen Eignung einer Aufbrennlegierung.

Wie Schreiner (32) zeigen konnte, sind die derzeit gebräuchlichen Tests zur Bestimmung der Verbundfestigkeit Metall - Keramik nur in der Lage, gewisse Aspekte des Verbundes zu prüfen und im Ergebnis zu verifizieren. Schwickerath (40) und auch Schreiner (32) weisen auf die Tatsache hin, daß bei allen Tests Keramikreste auf dem Metall verbleiben, was bedeutet, daß die Festigkeitswerte der Keramik entscheidend in die Versuchsergebnisse eingehen und bei Zugversuchen (Bruch in der Keramik!) die wohl eigentlich das Versuchsergebnis bestimmenden Größen sind.

Der Einfluß der Verarbeitungsbedingungen von Legierung und Keramik auf den Verbund ist ebenfalls von großer Bedeutung. Um all diese Unabwägbarkeiten keinen zu großen Einfluß auf die Versuchsergebnisse nehmen zu lassen, sollte beim derzeitigen Stand der Entwicklung von Testmethoden zur Bestimmung der Verbundfestigkeit nur vergleichend untersucht und bewertet werden und nur unter Beachtung des Grundsatzes der Schaffung möglichst ähnlicher Ausgangsbedingungen für die untersuchten Materialien. Da die Keramik sich zum Beispiel von Charge zu Charge unterscheiden kann, was sich durchaus auf die Festigkeit der Keramik selbst oder auch auf den Verbund auszuwirken vermag und auch die Brennöfen, wie Claus (5) anführt, selbst bei gleichem Modell, nicht unerhebliche Unterschiede aufweisen, ist der Vergleich von

Ergebnissen über eine Versuchsreihe hinaus äußerst problematisch.

Daher wurde in vorliegender Arbeit die Legierung Degudent U der Firma Degussa, die nach einer Umfrage von Kerschbaum, Loeck und Voß (19) in 107 Dentallabors die meistverwendete, hochgoldhaltige Legierung war, als Vergleichslegierung mit empirisch gesicherter klinischer Eignung eingeführt. In Anbetracht der großen Streuung der Versuchsergebnisse ist festzustellen, daß die Verbundfestigkeit von Metall und Keramik sowohl bei Degudent U als auch bei den untersuchten Palladiumbasis - Werkstoffen in der gleichen Größenordnung liegen. In Bezug auf die Haftfestigkeit ist die klinische Eignung der Palladiumbasis - Werkstoffe, mit der üblichen Einschränkung der Übertragbarkeit von in - vitro - Ergebnissen auf die Klinik, anzunehmen.

7.2 Diskussion der Ergebnisse der anodischen Polarisation

Das Verfahren der anodischen Polarisation (45) hat vermehrt Eingang in die Korrosionsforschung gefunden. Die Auswahl eines in seiner Zusammensetzung dem Speichel nahekommenden Elektrolyten erscheint noch problematisch, zumal Speichel eine von Individuum zu Individuum und auch abhängig von Tageszeit und Nahrungsaufnahme unterschiedliche Zusammensetzung zeigt.

Der Einfluß von Sulfidionen (7) und Rhodanitionen (11), auch in kleinen Konzentrationen, ist signifikant und erschwert erheblich die praktische Handhabung.

Die Korrelation der Ergebnisse der anodischen Polarisation zum klinischen Verhalten scheint aber, im Vergleich zu anderen Korrosionstestmethoden, groß zu sein.

Dies ist allerdings nicht absolut zu sehen, denn selbst hochgoldhaltige Legierungen können durch besondere Faktoren des Mundmilieus (Plaque) angegriffen werden. Auch spielt die Verarbeitung und damit das Gefüge der Legierungen eine entscheidende Rolle bei der Korrosionsresistenz. Die festgestellten Durchbruchspotentiale der untersuchten Palladiumbasis - Werkstoffe wie auch das Degudent U liegen über + 1000 mV gemessen gegen Normalwasserstoff - Elektrode, was berechtigten Grund zur Annahme ausreichender Korrosionsresistenz unter Mundbedingungen gibt, werkstoffgerechte Verarbeitung vorausgesetzt.

7.3 Diskussion der Ergebnisse der Bestimmung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten (WAK)

Der WAK - Wert ist eine Materialkonstante, die in zweierlei Hinsicht von Interesse ist.

Zum einen muß die Expansion der Einbettmasse die thermische Kontraktion der Legierung von Solidustemperatur auf Zimmertemperatur bzw. Mundtemperatur ausgleichen, um paßgenaue Güsse zu erhalten. Dieses Problem ist mit den modernen Einbettmassen mit "gesteuerter Expansion" als gelöst zu betrachten.

Zum anderen wird dem Verhältnis des WAK von Aufbrennlegierungen zum WAK von Aufbrennkeramiken (47, 30) Bedeutung in Bezug auf die Verbundfestigkeit des Systems beigemessen. Die Keramik soll unter leichter Druckspannung auf dem Metall stehen, die einen WAK - Wert der Keramik von etwa 0,3 Einheiten unter dem WAK - Wert des Metalls entspricht.

Da die WAK - Werte von Keramiken durch die Temperaturführung beim Brand über die Bildung von Leuziten in gewissen Grenzen verändert werden können, ist auf diesem Wege die Abstimmung der WAK - Werte der am Verbundsystem beteiligten Materialien möglich.

Die in der vorliegenden Arbeit bestimmten WAK - Werte liegen generell leicht unter den von den Herstellern angegebenen Werten, was an den nicht bindend vorgeschriebenen Temperaturintervallen zur Bestimmung des WAK liegen mag.

8 Zusammenfassung

Die Verbundfestigkeit Metall - Keramik, die in - vitro - Korrosionsbeständigkeit und der thermische Ausdehnungskoeffizient (WAK) von 9 silberfreien Palladiumbasislegierungen für die Metallkeramik wurden untersucht und die Ergebnisse mit den Ergebnissen der ebenfalls untersuchten, seit Jahren bewährten, hochgoldhaltigen Aufbrennlegierung Degudent U verglichen.

Die im Schertest nach Schmitz und Schulmeyer (31) ermittelten Verbundfestigkeitswerte liegen sowohl für die Palladiumbasislegierungen, als auch für Degudent U in der gleichen Größenordnung.

Die mit dem Verfahren der anodischen Polarisation ermittelten Durchbruchspotentiale der Palladiumbasislegierungen liegen über dem Durchbruchpotential von Degudent U, was mit einiger Sicherheit auf ausreichende Korrosionsbeständigkeit in der Mundhöhle schließen läßt.

Die Bestimmung des WAK erbrachte generell niedrigere Werte, als von den Herstellern angegeben, die Relation der WAK - Werte untereinander blieb jedoch annähernd gewahrt, sodaß Schlußfolgerungen in Bezug auf Einbettmasseexpansion und Brandführung möglich sind.

Die Gruppe der silberfreien Palladiumbasislegierungen zeigt sich im Vergleich mit der hochgoldhaltigen Aufbrennlegierung Degudent U in Bezug auf die untersuchten Eigenschaften in vitro als gleichwertig, wenn nicht gar überlegen, was Anlaß zu berechtigter Hoffnung auf erfolgreichen klinischen Einsatz dieser Legierungsgruppe gibt.

9 Literaturverzeichnis

1. ANTHONY, D. H., BURNETT, A. P., SMITH, B. L.,
BROOKS, M. S.:
Shear test for measuring bonding in cast gold
alloy - porcelain composites.
J. dent. Res. 49, 27 (1970)
2. BAUER, H.:
Die Scherfestigkeit des Verbundes NEM-Legierungen/
Keramik in Abhängigkeit von den Auftragstechniken
und einem interzonalen Material.
Med. Diss. Mainz 1983
3. CARPENTER, M., GOODKIND, R.:
Effect of varying surface texture on bond strength
of one semiprecious and one non precious ceramo -
alloy.
J. prosth. Dent. 42, 86 (1979)
4. CLAUS, H.:
Untersuchungen zur Haftung von Keramik auf Metall-
legierungen.
Dental-Labor 9/81, 749 (1981)
5. CLAUS, H.:
Viele Faktoren haben Einfluß auf die Haftung der
Dentalkeramik.
Dental-Labor 7/85, 897 (1985)
6. DAVIDSON, C. L., WEBER, H., GRÖNDLER, H., SPERNER, F.,
GUNDLACH, H. W., DORSCH, P., SCHWICKERATH, H., EICHNER,
K., FORCK, G., KEES, R.:
Medizinische und technologische Aspekte dentaler Alter-
nativlegierungen.
Quintessenz-Verlag, 1983

7. ENGEL, H.:
Vergleichende Untersuchung zweier In - vitro -
Korrosionstestmethoden unter Verwendung edelmetall-
reduzierter Dentallegierungen.
Med. Diss. Mainz 1983
8. FREESMEYER, W. B. und LINDEMANN, W.:
Biegefestigkeit eines Edelmetall - Keramik - Verbundes
in Abhängigkeit von der Vorbehandlung des Metallgerüsts.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 36, 791 (1981)
9. FREESMEYER, W. B. und LINDEMANN, W.:
Stereologische Untersuchung zur Bestimmung der Haft-
festigkeit keramischer Massen auf Edelmetalllegierungen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 37, 640 (1982)
10. FREESMEYER, W. B. und LINDEMANN, W.:
Einfluß der Brennbedingungen auf das Rekristallisations-
verhalten aufbrennkeramischer Massen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 461 (1985)
11. GEIS-GERSTORFER, J. und WEBER, H.:
Der Einfluß von Kaliumrhodanit auf das Korrosionsver-
halten edelmetallfreier Dentallegierungen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 87 (1985)
12. HEPPE, H. - J.:
Fehlerquellen bei der Verarbeitung von goldreduzierten,
silberfreien Gold - Palladium - Aufbrennlegierungen.
Quintessenz der Zahntechnik, 2, Ref. Nr. 738
13. HOCHWIND, A.:
Untersuchung des Einflusses von Zwischenschichten bzw.
Haftvermittlern auf die Verbundfestigkeit von metall-
keramischen Systemen, untersucht an einer hochgold-
haltigen, einer goldreduzierten und einer Silber -
Palladium - Aufbrennlegierung.
Med. Diss. Mainz 1984

14. HOHMANN, W.:
Untersuchung der Phasengrenzkorrosion im metall-
keramischen Verbund.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 1123 (1985)
15. HOHMANN, W.:
Edelmetallgußwerkstoffe in der Zahnheilkunde.
Welche Vorteile bringt der Silbergehalt?
Dental-Labor 12/85 1649 (1985)
16. ISO
Standard for Tarnish and Corrosion of Metals and
Alloys used in Dentistry.
First Draft
17. KAESCHE, H.:
Die Korrosion der Metalle.
2. Auflage Berlin, 1979, S. 61
18. KAPPERT, H. F., RIEDLING, W. und WEYHMANN, J.:
Eine vergleichende Studie von drei Methoden zur
Untersuchung des Metall - Keramik - Verbundes bei
NEM - Legierungen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 1179 (1985)
19. KERSCHBAUM, Th., LOECK, K. - U. und VOß, R.:
Ergebnisse einer Umfrage in Dentallaboratorien über
die Metallkeramik.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, 870 (1980)
20. KLÖTZER, W. T.:
Biologische Aspekte der Korrosion.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 1141 (1985)
21. KNOSP, H.:
Edelmetall - Aufbrennlegierungen - einige Aspekte
zu ihrem Aufbau und ihren Eigenschaften.
Degussa Brief 1979

22. LAUTENSCHLAGER, E. P., KOLLMANNSPERGER P. und
EICHNER, K.:
Korrosionsprüfungen an prothetischen Dentallegierungen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 1107 (1985)
23. LENZ, P.:
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an Grenz-
flächen von metallkeramischen Systemen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 30, 121 (1975)
24. LUDWIG, K. und BEHRENSDORF, K.:
Über das Korrosionsverhalten der Aufbrennlegierungen
Ultratek.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 31, 196 (1976)
25. LUKAS, D. G.:
Über die Messung von Spannungen und Kurzschlußströmen
an zahnärztlichen Metallen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 11, 1466 (1956)
26. MACH, W. J.:
Metalle im Mund.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 11, 1466 (1956)
27. MARX, H.:
Dental - Legierungen zur Goldeinsparung.
Zahnärztekalendar
Hanser-Verlag (1982)
28. MEYER, E.:
Gegenwärtige Standortbestimmung zur Eingliederung ver-
schiedener Metalle in die Mundhöhle.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 36, 265 (1981)
29. MEYER, E.:
Korrosionserscheinungen im Munde.
Quintessenz 30, 135 (1979)

30. SCHEBELA, H.:
Edelmetallreduzierte Dentallegierungen im zahntechnischen Labor.
Dental-Labor 2/84, 169 (1984)
31. SCHMITZ, KH. und SCHULMEYER, H.:
Bestimmung der Haftfestigkeit dentaler metallkeramischer Verbundsysteme.
Dental-Labor 12/75, 1416 (1975)
32. SCHREINER, J.:
Vergleichende Untersuchung von vier Verfahren zur Prüfung der Haftung Metall - Keramik.
Med. Diss. Mainz 1985
33. SCHWICKERATH, H.:
Materialien für die Aufbrennkeramik, ihre Eigenschaften und ihr Verhalten.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 33, 837 (1978)
34. SCHWICKERATH, H.:
Zur Verbundfestigkeit von Metallkeramik.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, 910 (1980)
35. SCHWICKERATH, H.:
Zum Festigkeitsverhalten von Metallkeramik.
Quintessenz Zahntechnik 4, 77 (1980)
36. SCHWICKERATH, H.:
Über die Spannungsverteilung im Verbund Metall - Keramik.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 25, 910 (1980)
37. SCHWICKERATH, H.:
Prüfung der Verbundfestigkeit Metall - Keramik.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 38, 21 (1983)
38. SCHWICKERATH, H. und MOKBEL, M. A.:
Grundlagen zur Prüfung des Verbundes Metall - Keramik.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 38, 949 (1983)

39. SCHWICKERATH, H. und MOKBEL, M. A.:
Über den Einfluß unterschiedlicher Wärmeausdehnungs-
koeffizienten in der Metallkeramik.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 38, 1033 (1983)
40. SCHWICKERATH, H.:
Das Festigkeitsverhalten von aufbrennfähigen Keramiken.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 996 (1985)
41. SCHWICKERATH, H. und MOSLEH, I.:
Verbundfestigkeit und Korrosionslösungen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 1126 (1985)
42. SHELL, J. und NIELSEN, J.:
Study of the bond between gold alloys and porcelain.
J. dent. Res. 41, 1424 (1962)
43. SPERNER, F.:
Verbund zwischen Dentalkeramik und Edelmetall -
Legierungen mit Blendgoldschichten.
Dental-Labor 27, 1515 (1979)
44. STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA:
Draft australian standard for dental casting alloys
for fixed dental appliances.
(1982)
45. STENDER, E. und MARX, H.:
In vitro - Untersuchungen des Korrosionsverhalten
dentaler Edelmetall - Legierungen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 39, 775 (1984)
46. STENDER, E. und HUMRICH, U.:
Dentale NEM - Legierungen im Korrosionstestvergleich
der anodischen Polarisation und des Tucillo - Nielsen -
Tests.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 40, 1129 (1985)

47. WAGNER, E.:

Die theoretischen Grundlagen der Vita - VMK / Degudent - Technik.

Zahnärztl. Welt 66, 343 (1965)

48. WAGNER, E.:

Werkstoffkunde der Dental - Edelmetallegierungen.

Verlag neuer Merkur, 1980

49. WEBER, H. und SAUER, K. H.:

Zur Kohlenstoffaufnahme keramisch verblendbarer, palladiumhaltiger Legierungen beim Schmelzen im Graphit - Tiegel.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 39, 16 (1984)

50. WIRZ, J.:

Prüfung der Korrosionsresistenz dentaler Legierungen in vitro.

Dental-Labor 11/84, 1351 (1984)

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Marx für die Überlassung des Themas und ihm und den Mitarbeitern des Institutes für zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie für die freundliche Unterstützung meiner Arbeit.

Herrn Prof. Dr. K. Fuhr danke ich für die Übernahme des 2. Gutachtens.

Folgenden Firmen danke ich für die prompte und unbürokratische Bereitstellung der Legierungen und für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse:

Fa. C. Hafner

Fa. Degussa

Fa. Wieland

Fa. Heraeus

Fa. Bego

Fa. Metaux Precieux

Fa. Dentaureum

Fa. Cendres & Metaux

Lebenslauf

Am 15. Februar 1961 wurde ich, Hans - Jörg Schwenk, als erster Sohn des Grafik - Designers Roland Schwenk und der Hausfrau Helga Schwenk geb. Kuhfuß in Kirberg, dem heutigen Hünfelden 1, geboren.

1967 wurde ich in Kirberg eingeschult. Nach der 4. Klasse wechselte ich zur Tilemannschule, einem alt- und neu-sprachlichen Gymnasium in Limburg an der Lahn. Dort bestand ich im Dezember 1979 das Abitur.

Zum Sommersemester 1980 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz, wo ich im April 1981 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im September 1982 die zahnärztliche Vorprüfung ablegte. Nach der zahnärztlichen Prüfung im Sommer 1985 wurde ich am 05. Juli als Zahnarzt approbiert.

Seit September 1985 arbeite ich als Ausbildungsassistent.

